

# Obtaining carbonation depth of concrete used two different procedures Standard EHE-08.

A. Cobo <sup>1,a</sup>, M.N. González García <sup>2,a</sup>, A. Picazo <sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Dpto. Tecnología de la Edificación. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

<sup>2</sup> Dpto. Construcciones Arquitectónicas y su Control. UPM

<sup>a</sup> UPM Research Group: Structural Pathology Collective Protection and Aids Building  
Avenida Juan de Herrera, 6. 28040 Madrid. Spain

## Summary

The Structural Concrete last published in Spain, EHE 08 [1], has meant a qualitative change in the treatment of durability over the previous standard issued in Spain.

In the Standard EHE 08, for the first time, durability acquires the status of Limit State. Article 8 provides that the term Durability limit state, produced by physical and chemical actions, different loads and actions of structural analysis, which can degrade the concrete and reinforcement to unacceptable limits.

The verification of this limit state can be done through a procedure set out in the provisions of the Standard. This procedure is based on the use of tables that, depending on the aggressiveness of the environment in which the structure is the concrete strength and the life of the project, setting the quality of the concrete cover (minimum thickness and maximum water cement ratio of concrete used) and the maximum crack width. This procedure, simple in its application, provides highly secure solutions.

In addition, on Annex 9, the Standard EHE 08 offers models for testing the durability limit state in cases of corrosion of reinforcement due to carbonation of concrete or entry of chloride ions. The results obtained with these models are tighter than those obtained with the procedure of the articles.

In this paper we use both methods in the study of reinforced concrete structures with potential problems of corrosion of reinforcement due to carbonation of concrete. Later checking the results obtained by both procedures.

Results demonstrate that the use of the models listed in Annex 9 of Standard EHE 08 offer cheaper solutions than those obtained using the procedure of the articles.

## 1 Introduction

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 permite abordar la durabilidad de una estructura de dos formas distintas:

En el texto del articulado se ofrece una metodología sencilla para obtener el recubrimiento mínimo de hormigón, la cantidad mínima de cemento o la relación máxima agua cemento en función del tipo de ambiente en el que se encuentra la estructura y el tipo de construcción de que se trata. El desarrollo de ésta metodología se basa en la aplicación de una serie de tablas de fácil manejo e interpretación que aparecen en el articulado de la Instrucción.

En el Anejo 9 de la Instrucción EHE-08 se ofrece una formulación para obtener la vida útil de una estructura cuando la corrosión de las armaduras se puede producir por la carbonatación del hormigón o el ingreso de iones cloruro.

En este trabajo se analizan las diferencias que se producen en un caso concreto cuando se utilizan ambas metodologías.

The concrete structural instruction EHE-08 allows addressing the durability of A structure in two different ways:

In the text of the articulated SE offers A methodology single paragraph obtain the minimum concrete cover, the minimum amount of cement or water connection maximum cement depending on the type of environment in what is Yes the structure and the type of construction that was trafficking. The development of This methodology does is based on the implementation of A series of tables for easy management and interpretation in the wording of the instruction.

In the annex 9 of the Instruction EHE-08 SE offers a formulation paragraph obtain the useful life of a structure when reinforcement corrosion can occur by carbonation of the concrete or the income of ions chloride.

This work is in itself analyses the differences that are produced in the United Nations case specifically when using ambassadors methodologies.

## **2 Development work**

Se ha elegido como caso de estudio una losa de hormigón armado con control de ejecución (in situ) normal. Se ha empleado cemento CEM II/A, aire ocluido < 4,5 %, elemento protegido de la lluvia, ambiente IIb, edificio de viviendas. H30.

Sobre esta estructura se van a obtener los siguientes datos o valores:

It has been chosen as a slab of reinforced concrete with control (in situ) normal execution case study. Has been used cement CEM II/A, occluded air < 4.5%, element protected from rain, IIb, residential building environment. H30.

This structure will obtain the following data or values:

I) Design with a view to durability. As stipulated in the articles of EHE 08.

Diseño de cara a durabilidad. Según lo estipulado en el articulado de EHE 08.

II) Assuming a geometric 35 mm coating: time needed to achieve the CO<sub>2</sub> into the rebar.

Suponiendo un recubrimiento geométrico de 35 mm: tiempo necesario para alcanzar el CO<sub>2</sub> a las armaduras.

- III) Assuming that the concrete is fissure to a penetration of 125  $\mu\text{m}$  steel corrosion and a speed of corrosion of 1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  equals a loss of thickness of 11.6  $\mu\text{m}/\text{year}$ . If an average speed of 4  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  corrosion is predictable in the structure. What is the time required for that concrete is fissure?.

Suponiendo que el hormigón se fisura para una penetración de la corrosión en el acero de 125  $\mu\text{m}$  y que una velocidad de corrosión de 1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  equivale a una pérdida de espesor de 11,6  $\mu\text{m}/\text{año}$ . Si en la estructura es previsible una velocidad media de corrosión de 4  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . ¿Cuál es el tiempo necesario para que el hormigón se fisure?.

- IV) The time required for steel lost 15% of section, in the two following cases:

- Rebar with  $\varnothing$  12.
- Rebar with  $\varnothing$  16.

El tiempo necesario para que el acero pierda un 15 % de sección, en los dos supuestos siguientes:

- Armadura con  $\varnothing$  12.
- Armadura con  $\varnothing$  16.

- V) The time required for the steel loses 40% of section, in the two following cases:

- Rebar with  $\varnothing$  12.
- Rebar with  $\varnothing$  16.

El tiempo necesario para que el acero pierda un 40 % de sección, en los dos supuestos siguientes:

- Armadura con  $\varnothing$  12.
- Armadura con  $\varnothing$  16.

### 3 Solution

- i) Using the tables of the wording of the instruction EHE - 08 can be obtained the following values:

Nominal lifetime: greater than or equal to 50 years (table 5 EHE 08).

Minimum coating: 25 mm (table 37.2.4.1. to EHE 08).

Nominal coating: 35 mm, (article 37.2.4 EHE 08).

Maximum w/c ratio: 0.55 (table 37.3.2. at EHE 08).

Minimum content in cement: 300 kg/m<sup>3</sup> (table 37.3.2. at EHE 08).

Recommended minimum resistance: 30 N/mm<sup>2</sup> (table 37.3.2. b EHE 08).

Maximum of fissure aperture: 0.3 mm (table 5.1.1.2 EHE 08).

- (II) Using the wording of Annex 9 EHE 08 can get:

- I) Utilizando las tablas del articulado de la Instrucción EHE-08 se pueden obtener los siguientes valores:

Vida útil nominal: mayor o igual a 50 años, (tabla 5 EHE 08).

Recubrimiento mínimo: 25 mm, (tabla 37.2.4.1.a EHE 08).

Recubrimiento nominal: 35 mm, (artículo 37.2.4 EHE 08).

Máxima relación a/c: 0,55 (tabla 37.3.2.a EHE 08).

Mínimo contenido de cemento: 300 kg/m<sup>3</sup>, (tabla 37.3.2.a EHE 08).

Resistencia mínima recomendada: 30 N/mm<sup>2</sup>, (tabla 37.3.2.b EHE 08).

Abertura máxima de fisura: 0,3 mm, (tabla 5.1.1.2 EHE 08).

- II) Utilizando la formulación del Anejo 9 EHE 08 se puede obtener:

$$d = k_c \cdot \sqrt{t}$$

$$k_c = C_{env} \cdot C_{air} \cdot a \cdot f_{cm}^b$$

Protected from the rain:  $C_{env} = 1,0$ .

Air occluded < 4,5 %:  $C_{air} = 1,0$ .

Protegido de la lluvia:  $C_{env} = 1,0$ .

Aire ocluido < 4,5 %:  $C_{air} = 1,0$ .

CEM II/A:  $a = 1800$

$b = -1,7$

$$f_{cm} = 30 + 8 = 38 \text{ N/mm}^2$$

$$K_c = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1800 \cdot 38^{-1,7} = 3,71 \text{ mm}/\sqrt{\text{year}}$$

$$35 \text{ mm} = \frac{3,71 \text{ mm}}{\sqrt{\text{year}}} \cdot \sqrt{t}$$

$$t = 88,9 \text{ year}$$

Time it takes for the CO<sub>2</sub> to reach the rebar.

Tiempo que tarda el CO<sub>2</sub> en llegar a las armaduras.

III)  $4 \mu\text{A/cm}^2 < 4 \cdot 11,6 \mu\text{m/year} = 46,4 \mu\text{m/year}$

$$t = \frac{125}{46,4} = 2,7 \text{ year} . \text{ Time it takes to fisurarse concrete. Tiempo que tarda en fisurarse el hormigón.}$$

IV)  $1 \varnothing 12 = 113 \text{ mm}^2$

$$0,85 \cdot 113 = 96,05 \text{ mm}^2 \Rightarrow \varnothing_r = 11,06 \text{ mm}$$

$$2 \cdot \Delta_e = 12 - 11,06 \Rightarrow \Delta_e = 0,47 \text{ mm} = 470 \mu\text{m}$$

$$t = \frac{470}{46,4} = 10,13 \text{ year} . \text{ Time required for a } 12 \varnothing \text{ lost } 15\% \text{ of section. Tiempo necesario para que un } \varnothing 12 \text{ pierda el } 15 \% \text{ de sección.}$$

$$1 \varnothing 16 = 201 \text{ mm}^2$$

$$0,85 \cdot 201 = 170,9 \text{ mm}^2 \Rightarrow \varnothing_r = 14,75 \text{ mm}$$

$$2 \cdot \Delta_e = 16 - 14,75 \Rightarrow \Delta_e = 0,62 \text{ mm} = 620 \mu\text{m}$$

$$t = \frac{620}{46,4} = 13,36 \text{ year} . \text{ Time required for a } 16 \varnothing \text{ lost } 15\% \text{ of section. Tiempo necesario para que un } \varnothing 16 \text{ pierda el } 15 \% \text{ de sección.}$$

$$V) \quad 1 \varnothing 12 = 113 \text{ mm}^2$$

$$0,6 \cdot 113 = 67,8 \text{ mm}^2 \Rightarrow \varnothing_r = 9,3 \text{ mm}$$

$$\Delta_e = 1,35 \text{ mm} = 1350 \text{ }\mu\text{m}$$

$$t = \frac{1350}{46,4} = 29,1 \text{ year .}$$

$$1 \varnothing 16 = 201 \text{ mm}^2$$

$$0,6 \cdot 201 = 120,6 \text{ mm}^2 \Rightarrow \varnothing_r = 12,39 \text{ mm}$$

$$\Delta_e = 1,80 \text{ mm} = 1800 \text{ }\mu\text{m}$$

$$t = \frac{1800}{46,4} = 38,79 \text{ year .}$$

In the following figure 1 and on the basis of the model of Tuutti [2], shows the behavior of this structure according to the values obtained using the formula of the annexed EHE-08 9.

En la siguiente figura 1 y basándose en el modelo de Tuutti [2], se muestra el comportamiento de esta estructura según los valores obtenidos utilizando la formulación del anejo 9 de EHE-08.

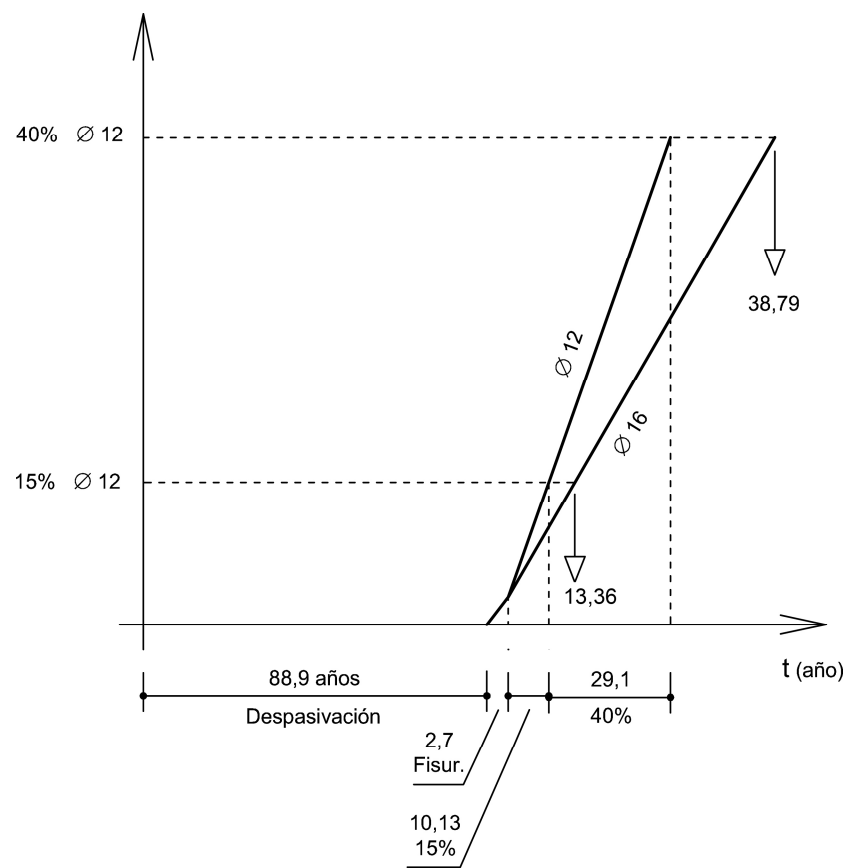


Figure 1: Vida útil y vida residual Useful lives and residual life

#### 4 Analysis of results Análisis de resultados

Utilizando la estrategia de durabilidad del articulado de la Instrucción EHE-08 se ha obtenido que para conseguir una vida útil de 50 años, se necesitaba en este caso un recubrimiento nominal de 50 mm. Sin embargo, utilizando el modelo ofrecido por el Anejo 9 de la misma Instrucción, en esta estructura el frente carbonatado tardaría 89 años en alcanzar a las armaduras. Queda patente la enorme diferencia entre los dos valores obtenidos y el enorme interés que en muchos casos puede tener el empleo de la formulación contenida en el anejo 9.

Si el final de la vida útil se establece como el momento en el que aparece la primera fisura debida a la corrosión, la Instrucción no ofrece modelos para este cálculo y hay que utilizar los datos existentes en la literatura especializada. Usando valores habituales y contrastados por experiencias realizadas durante decenios de años, se ha obtenido que el hormigón se fisuraría en algo menos de 3 años, lo que daría lugar al fin de la vida útil de la estructura. La comparación del tiempo necesario para que se despasive el acero con el tiempo necesario para que una vez despasivado el acero, los efectos de la corrosión sean capaces de fisurar el hormigón, indica que el primero es muy superior al segundo.

Si el fin de la vida residual de la estructura se establece como el tiempo necesario para que se pierda una determinada sección de acero, de nuevo hay que recurrir a la literatura especializada. En este caso la vida residual está muy influenciada por el diámetro de la armadura de modo que la vida residual es mayor cuanto mayor es el diámetro de la armadura. En los cálculos realizados no se han tenido en cuenta otros factores que pueden influir e incluso condicionar la vida residual de las armaduras como son la disminución del anclaje o de la adherencia entre las armaduras y el hormigón.

Using the strategy of durability of the wording of the instruction EHE - 08 was obtained to achieve a life expectancy of 50 years, was needed in this case a nominal coating of 50 mm. However, using the model offered by Annex 9 of the same instruction in this structure carbonated front take 89 years to catch up with the armor. It is evident the enormous difference between the two values and the enormous interest that in many cases can have employment for the formulation contained in annex 9.

If the end of the useful life is established as the moment in which appears the first rift due to corrosion, the instruction does not offer models for this calculation and we will use the existing data in the literature. Using common and values contrasted by experience gained over decades of years, has been obtained that the concrete is fisuraría in less than 3 years, which would lead to the end of the useful life of the structure. Comparison of the time needed to be despasive steel with the time required for once despasivado the steel, the corrosion effects are capable of fisurar concrete, indicates that the first is much higher than the second.

If the end of the residual life of the structure is established as the time necessary so as to lose a certain section of steel, again should have recourse to the specialized literature. In this case the residual life is heavily influenced by the diameter of the armor so that residual life is greater, the greater is the diameter of the armor. In the calculations not be taken into account other factors that can influence and even influence the residual life of the armature as they are decreased the anchor or the bond between the armature and the concrete.

## 5 Conclusions

The use of the formulation contained in annex 9 of the instruction EHE-08 with values of life far superior to those obtained using the strategic-enfeebled durability contained in the instruction EHE-08 articles.

Once despassivated steel and has begun corrosion, the time required for that is fissure concrete, which would mark the end of useful life, is a lot less than the time needed for steel is despassive.

If the end of the residual life of the structure is evaluated by the loss of the steel section, it depends on the diameter of the armour, being higher the greater the diameter of the bar.

El empleo de la formulación contenida en el Anexo 9 de la Instrucción EHE-08 conduce a valores de vida útil muy superiores a los que se obtienen utilizando la estrategia de durabilidad contenida en el articulado de la Instrucción EHE-08.

Una vez despasivado el acero e iniciada la corrosión, el tiempo necesario para que se fisure el hormigón, lo que marcaría el final de la vida útil, es muchísimo menor al tiempo necesario para que el acero se despasive.

Si el final de la vida residual de la estructura se evalúa por la pérdida de sección del acero, ésta depende del diámetro de la armadura, siendo mayor cuanto mayor sea el diámetro de las barras.

## 6 References

- [1] Ministerio de Fomento. Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Madrid 2008.
- [2] K. TUUTTI. "Corrosion of Steel in Concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute. Estocolmo (1982).